

# H.264 SP Tipi Çerçeveser ile Uyarlamalı Video Akışlandırma

## Adaptive Video Streaming With H.264 SP Frames

Müge SAYIT<sup>a\*</sup>, E. Turhan TUNALI<sup>b</sup>

<sup>a</sup>Ege Üniversitesi, Uluslararası Bilgisayar Enstitüsü, 35100, Bornova, İzmir

<sup>b</sup>İzmir Ekonomi Üniv., Müh. ve Bilgisayar Bilimleri Fak., Bilgisayar Müh. Bölümü, 35330, Balçova, İzmir

Geliş Tarihi/Received : 29.06.2011, Kabul Tarihi/Accepted : 16.09.2011

### ÖZET

Bu çalışmada, H.264 AVC video kodlayıcısının SP tipi çerçeveleri, gerçek internet üzerinde çalışan bir video akışlandırma uygulamasında etkin kalite değişimini sağlamak üzere kullanılmıştır. Uyarlamalı bir video akışlandırma uygulaması geliştirilmiş ve bu algoritma kullanılarak SP tipi çerçevelerin kazanımı, standart I tipi çerçeveler ile karşılaştırılmıştır. Farklı ağ koşullarında yapılan ölçümler, karşılaştırmaların eşit şartlarda yapıldığını göstermek amacıyla her deney için incelenmiştir. Belirli koşullar altında, SP tipi çerçevelerin kazanımı arttırdığı, aksi durumda sisteme sadece ekyük getirebileceği gözlemlenmiştir. Bu gözleme bağlı olarak, farklı video tipi – sıkışıklık düzeyi için farklı GOP desenleri önerilmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** H264, Uyarlamalı video akışlandırma, SP tipi çerçeveler.

### ABSTRACT

In this work, SP frames of the extended profile of H.264 AVC video codec are utilized to obtain efficient switching for actual video streaming experiments on the Internet. An adaptive algorithm is developed and by using this algorithm, performance of SP frames is compared with that of standard I-frame switching. Detailed measurements of network conditions are given for each experiment to indicate that comparisons are carried out in fair conditions. It has been observed that, under certain conditions, SP frames can improve performance considerably whereas in the others, they may only introduce overhead. Based on this observation different GOP patterns are proposed for different video type-congestion level combinations.

**Keywords:** H264, Adaptive video streaming, SP frames.

### 1. GİRİŞ

İnternet üzerinde çalışan video akışlandırma uygulamalarında, kullanılabilir bantgenişliği, gecikme, paket kayıp oranı gibi etkenler akışlandırma uygulamalarını kötü yönde etkilemektedir. İstemci tarafında kabul edilebilir bir görüntü kalitesi elde etmek için, video akışlandırma uygulamalarının sözü edilen ağ koşullarına uyum sağlaması gerekmektedir. Ağ koşullarında herhangi bir değişiklik tespit edildiğinde, video göndermekle yükümlü sunucu, bu değişikliklere uygun bir şekilde gönderim bit hızını ayarlayabilir. Bu uyarlamanın iki temel sebebi vardır:

(1) Ağ üzerindeki sıkışıklığın giderilmesinde pozitif bir rol oynaması ve (2) gönderilen bit hızının uygun bir değere düşürülmesiyle paket kayıp oranını azaltarak istemci tarafındaki gözlenen kaliteyi arttırmasıdır. Sunucu, bit hızında ayarlama yapabilmek için genellikle varolan kodlanmış video verisi dizileri arasında geçişler yapar, katmanlı kodlayıcılarda ise, belirli katmanları gönderilen video dizisinden çıkarır. İstemci tarafında kalite değişiminin sıklıkla tekrarlanması istenmeyen bir durumdur, dolayısıyla bit hızı değişim kararının çok sık verilmemesi gerekmektedir. İstemci tarafı ve ağ koşulları düşünüldüğünde, bit hızı değişim kararının sıklığı önemli bir kriterdir.

\* Yazışılan yazar/Corresponding author. E-posta adresi/E-mail address : muge.fesci@ege.edu.tr (M. Sayıt)

Bit hızı uyarlamalı video akışlandırma sistemlerinde kullanılan kodlayıcı türlerinden biri, video verisini farklı katmanlar halinde kodlayarak farklı bit hızı elde edilmesine yarayan çok katmanlı kodlayıcılardır. Son video sıkıştırma standardı olan H.264 kodlayıcısının SVC uzantısı (Wiegand v.d., 2003) ile yapılan video akışlandırma sırasında, farklı kalite katmanlarının eklemeye ya da çıkarılmasıyla kalitenin bantgenişliğine uygun uyarlanması sağlanabilir. Bu teknikte, genişleme katmanlarının kodlanabilmesi ve çözümlenebilmesi için taban katmanı bilgisi gerekmektedir. H.264 SVC ile uyarlamalı akışlandırma yapan sistemlere örnek olarak verilebilir (Görkemli ve Tekalp, 2007; Renzi v.d., 2008; Shao v.d., 2010).

Çok katmanlı kodlayıcıların karmaşıklığının katmanlı olmayan kodlayıcılara göre daha fazla olması sebebiyle video akışlandırma için çok katmanlı olmayan kodlayıcılar tercih edilebilir. Video verisinin akışlandırılmadan önce kodlandığı ve çok katmanlı kodlayıcıların kullanılmadığı sistemler için kalite değişimi, aynı videonun birden fazla kalitede kodlanarak bu diziler arasında geçişi ile mümkün olmaktadır. Bu yaklaşımda ortaya çıkabilecek sorunlar, kodlanan videoların bit hızının kanal bantgenişliği ile tutarsızlığı ve I tipi çerçeve gönderilene kadar kalite değişimi yapılamayacak olmasıdır. Kalite değişimi için I tipi çerçeve gönderim gereksinimi, P ve B tipi çerçevelerin birbirlerini referans alarak kodlanmalarından dolayı kaynaklanmaktadır.

H.264 AVC standardında, etkin bir kalite uyarlama ve hata dayanıklılığı sağlamak amacıyla SP ve SI tipi anahtarlar çerçeveleri öne sürülmüştür. SI tipi çerçeveler, I tipi çerçevelere ya da ARQ tabanlı mekanizmalara (Argyriou ve Madisetti, 2005) karşılık hata devamını engellemek amacıyla; SP tipi çerçeveler ise I tipi çerçevelere karşılık kalite değişimini sağlamak amacıyla kullanılmak üzere önerilmiştir. Her iki durumda da aynı kalitede kodlanmış video için, anahtarlama (SP–SI) tipi çerçeveler I tipi çerçevelerden daha iyi bit hızına sahiptir (Setton ve Girod, 2006). SP tipi çerçevelerin etkinliği üzerine iyi çalışılmış bir konu olmasına rağmen, gerçek internet ortamı üzerinde bu çerçeveler ile akışlandırma yapan uygulamalar bulunmamaktadır.

Bu makalede, gerçek internet ortamı üzerinde H.264 kodlayıcısı ile yapılan deneylerin kazanım sonuçları, geliştirilen uyarlama algoritması ile birlikte raporlanmıştır. SP tipi çerçeveler (Rejaie v.d., 2000) iki farklı kalitede video verisi ile birlikte kodlanmış ve kalite değişimi, ağ üzerindeki paket kayıp oranı ile birlikte kullanılabilir bantgenişliği tahminleme değerlerine bakarak gerçekleştirilmiştir. SP tipi ve I tipi çerçevelerin kazanımları kalite değişimi açısından değerlendirilmiştir. Yapılan çok sayıda test ile, istemci tarafındaki kalite değerleri ağ koşullarına göre raporlanmıştır.

Makalenin bundan sonraki bölümü şu şekildedir: İkinci bölümde, SP tipi çerçeveler kullanan akışlandırma sistemleri araştırılmıştır. Üçüncü bölümde, önerilen uyarlama algoritması ile akışlandırma sistemi tanıtılmıştır. Dördüncü bölümde, kazanım metrikleri tartışıldıktan sonra, gözlemlenen sonuçlara değinilmiştir. Son olarak, beşinci bölümde, sonuçlar ve yorumlar yer almaktadır.

## 2. İLGİLİ ÇALIŞMALAR

İnternet üzerinden uyarlamalı video akışlandırma sistemleri bir çok araştırmacı tarafından çalışılmıştır. Literatürde, etkin kalite değişimi, içeriğe bağlı uyarlama politikaları, bit hızı kontrolü ve alınan video kalitesi metrikleri gibi problemlere ilişkin çalışmalar yer almaktadır. Uyarlama sıklığının belirlenmesi, bir sonraki uyarlama aralığı için uygun bit hızının seçilmesi gibi konularda birçok araştırma yapılmıştır.

H.264 kodlayıcısını Video Kodlama Katmanı (VKK) ve Ağ Soyutlama Katmanı (ASK) olarak iki katmana ayrılması, H.264 ile kodlanmış verinin ağ üzerinde akışlandırılması için esnek bir altyapı sağlamaktadır. VKK sunucu tarafında video verisini kodlamaya, istemci tarafında ise çözümlenmeye yarar. ASK, VKK katmanından ayrı olarak bu katmandan aldığı veriye ağ üzerinde iletimini yapmak amacıyla başlık bilgisi ekler. Kodlanmış videonun iletiminden önce, video verisi ASKB adı verilen ASK birimlerine ayrılır. Bu birimlerin büyüklüğüne göre, bir yada daha fazla ASKB bir RTP paketinin içine konulabilir (Wenger, 2003); (Wenger ve Hannuksela, 2005). ASK birimleri video verisi, kodlama için gerekli video parametreleri ya da zaman bilgisi taşıyabilir.

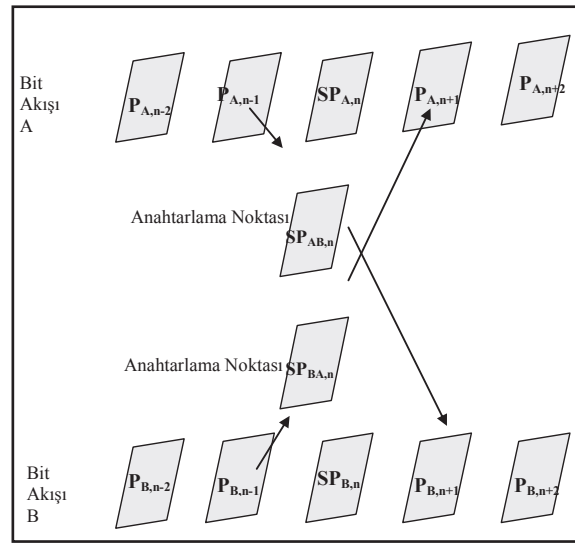
Literatürde, H.264 verisini internet üzerinde akışlandırma yapan çalışmalar yer almaktadır. (Argyriou ve Madiseti, 2005) çalışması, farklı çerçeve tipleri için farklı yeniden gönderim stratejileri tanımlar. Çalışmada, I, P ve B tipi çerçeveler kullanılmıştır ve bir paket kaybı olduğunda, eğer bu paket I tipi çerçeve taşıyorsa yeniden gönderilir. P ve B tipi çerçevelerin gönderimi ise güvensizdir. Yapılan deneylerde NS2 benzetim ortamı kullanılmış ve paket kayıp oranı % 0 ile % 12 arasında seçilmiştir. Değişen ağ koşulları istemci tamponunun boyutunda belirgin değişimlere yol açmaktadır. Bu sorunun çözümü için (Rejaie v.d., 2000) çalışmasında önerilen tampon uyarlama algoritması kullanılmıştır.

H.264 ile yapılan bir başka video akışlandırma çalışmasında (Schierl ve Wiegand, 2004), yeni bir uyarlama algoritması öne sürülmüştür. Algoritmada, bit hızını iletim hızına uygun seçmek için, bit hızı anahtarlama ve zamansal ölçeklendirme yapılmıştır. Çalışmada, kalite anahtarlama için I tipi çerçeveler kullanılmıştır. Zamansal ölçeklendirme için ise, ilk olarak referans alınmayan çerçeveler, daha sonra referans alınan çerçeveler ve son olarak da IDR çerçeveleri atılmaktadır. Sunucu, RTCP yardımı ile kayıp paketleri belirler ve istemciye tekrar gönderim yapar. NISTNET benzetim ortamında yapılan deneylerde maksimum bit hızı 700 kbps olmak üzere 2 bit akışı kodlanmış ve darboğaz bit hızı 1200 kbps ile 3200 kbps arasında seçilmiştir. PSNR değerleri 29 dB ile 43 dB arasında raporlanmıştır (Schierl ve Wiegand, 2004).

İlk olarak H.264 standardı içinde geliştirilen SP ve SI tipi çerçeveler, kalite anahtarlama noktası, rastgele erişim ve hata dayanıklılık/kurtarma için geliştirilmiştir. Çalışmamızda, SP tipi çerçeveler kullanılarak kazanım ölçümleri raporlanmıştır. SP tipi çerçeveler, farklı çerçeveleri referans aldıkları durumda bile aynı yeniden yapılandırma değerlerini elde edebilirler (Karczewicz ve Kurceren, 2003). Daha iyi kodlama performansına sahip oldukları için, kalite uyarlamada I tipi çerçevelere tercih edilebilirler.

A ve B H.264 ile kodlanmış bitakışlarını gösteren Şekil 1'de iki tip SP tipi çerçeve görülebilir.  $SP_{A,n}$  ve  $SP_{B,n}$  tipi çerçeveler kalite değişimi

yapılmayacağı zaman kullanılan birincil SP tipi çerçevelerdir. İkincil SP tipi çerçeveler, Şekil 1'de  $SP_{AB,n}$  olarak gösterilmiştir ve kalite değişimini sağlar. Kalite değişim noktasında, birincil SP tipi çerçevenin ardından, sunucu ikincil SP tipi çerçeveyi gönderir ve kalite değişimini sağlar. Şekil 1'de görüldüğü üzere,  $P_{B,n+1}$ ,  $SP_{B,n}$ 'yi referans olarak kullanır ancak  $SP_{AB,n}$  ikincil çerçevesinden sonra da hatasız olarak çözümlenebilir. A'dan B'ye değişim yapmak için,  $SP_{AB,n}$  tipi çerçeve  $SP_{B,n}$  ve  $P_{A,n-1}$  tipi çerçeveler kullanarak kodlanmalıdır ve akışlandırma esnasında gönderilmelidir (Karczewicz ve Kurceren, 2003).



Şekil 1. Anahtarlama çerçeveleri (Karczewicz ve Kurceren, 2003).

Setton ve Girod, (2006) çalışması SP/SI tipi çerçeveleri anahtarlama amacıyla kullanan çalışmalardan biridir. Geliştirdikleri SP/SI kodları, diğer araştırmacıların kullanımı amacı ile referans yazılıma eklenmiştir. Setton ve Girod, (2006) çalışmasında, NS2 benzetim ortamı üzerinde değişen hat gecikmeleri ve kayıp paket oranları ile birlikte deneyler yapılmıştır. Kayıp paketlerin yeniden gönderimi için ARQ kullanılmıştır. Yeniden gönderim kullanılmadığında periyodik I tipi çerçeveler ile kalite kazanımının 1 dB arttığı, yeniden gönderim ve SP tipi çerçeveler kullanıldığında ise kazanımın I tipi çerçevelerin kullanıldığı duruma göre 1.5 dB arttığı raporlanmıştır.

Sayıt ve Tunalı, (2006) çalışmasında, SP tipi ve I tipi çerçeveler ile oluşturulan video dizileri

gerçek internet ortamı üzerinden uyarlamalı bir algoritma ile gönderilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre, PSNR değeri 10 ile 20 dB arasında değişmektedir.

Çalışmamız kapsamında, gerçek internet ortamı üzerinde H.264 ile kodlanmış video verisi için (Sayıt ve Tunalı, 2006) çalışmasında önerilen kalite uyarlamalı video akışlandırma sistemi geliştirilmiştir. Önerilen yeni algoritmada, video dizisi üzerindeki uyarlama ölçütlerine zamansal çözünürlük eklenmiştir. Buna ek olarak, farklı karakteristikteki videolar farklı GOP desenleri ile ve farklı ağ sıkışıklık seviyeleri üzerinde test edilerek farklı tip video ve farklı yoğunlukta ağ için avantajlı GOP desenleri belirlenmiştir. Sistem, sunucu-istemci mimarisinde olup, sunucu ağ üzerinden ve istemciden aldığı tepkilere göre hangi bit akışını göndereceğine karar vermektedir. İstemci tamponundaki zaman kısıtlamaları nedeniyle ARQ uygulanmamıştır. Sistemin bir diğer özelliği, içine gömülen bantgenişliği tahminleme modülü ile ağ üzerindeki sıkışıklığın ölçümlenebilmesidir.

### 3. H.264 İLE VIDEO AKIŞLANDIRMA

Bu bölümde, internet üzerinden H.264 video verisinin gönderimi üzerine kullanılması önerilen GOP desenleri ve uyarlamalı akışlandırma algoritması açıklanacaktır. Uyarlama algoritması, istemcinin, değişen ağ koşullarına göre en uygun kalitede video almasını sağlamaktadır.

#### 3.1. GOP Yapısı

SP ve I tipi çerçevelerin, internet ortamının değişen ağ koşullarında performansını gözlemlemek amacıyla SP tipi çerçevelerin bulunduğu ve bulunmadığı iki tipte GOP yapısı kullanılmıştır. SP tipi çerçevelerin bulunduğu bit akışında, I tipi çerçeve periyodu 32 olup her iki I çerçevesinin ortasında bir SP tipi çerçeve kodlanmıştır. GOP desen yapısı IBBBP... olarak seçilmiştir. Bu desene göre, uygun B tipi çerçevelerin atılmasıyla 3 farklı tipte zamansal çözünürlük elde etmek mümkündür. Bu şekilde oluşturulan ve deneylerde kullanılan GOP desenleri aşağıdaki şekilde maddelenebilir:

- I BBB P BBB P...BBB I BBB P (30 fps)
- I BBB P BBB P...BBB SP BBB P(30 fps)
- I B P B P...B I B P...(15 fps)
- I B P B P...B SP B P...(15 fps)
- I P I P...P I P...(7.5 fps)
- I P SP P...P SP P...(7.5 fps)

Verilen GOP desenlerine karşılık gelen bit hızları Tablo 1’de verilmiştir.

**Tablo 1. Farklı GOP desenlerine karşılık gelen bit hızı değerleri.**

	Video Bit Hızı: 95 Kbps	Video Bit Hızı: 330 Kbps
GOP a	95 Kbps	330 Kbps
GOP b	95 Kbps	330 Kbps
GOP c	85 Kbps	249 Kbps
GOP d	84 Kbps	245 Kbps
GOP e	72 Kbps	186 Kbps
GOP f	70 Kbps	180 Kbps

Bit akışları yüksek kaliteli ve düşük kaliteli olmak üzere 330 kbps ve 95 kbps bithızlarında kodlanmıştır.

Daha önce söz edildiği üzere, ikincil SP tipi çerçeveler birincil SP tipi çerçevelerden üretilmiştir. İki farklı kalitede bit akışı elde edildikten sonra, ikincil SP tipi çerçeveler, düşük kaliteden yüksek kaliteye ve yüksek kaliteden düşük kaliteye geçecek şekilde kodlanmıştır.

#### 3.2. Gözlenen ve Kontrol Edilen Parametreler

Sunucu-istemci mimarisinde, sunucunun görevi uyarlama algoritmasına göre uygun kalitede video göndermektir. Kayıp paket oranı ve kullanılabilir bantgenişliği gibi gözlenen parametreler video gönderimi süresince istemci yardımı ile belirlenir. İstemci tarafındaki tamponlanmış video, saniye cinsindedir ve tv olarak gösterilir. Kayıp paket oranı, sunucu tarafından, istemcinin 5 saniyede bir gönderdiği RTCP raporlarından çekilir. Gereksiz kalite salınımlarını engellemek için, anlık gözlemlenen kayıp paket oranı (akpo) (1)’de verilmiş formüle göre yeniden düzenlenir ve düzenlenmiş kayıp paket oranı elde edilir (dkpo).

$$dkpo = (1 - \alpha) * dkpo + \alpha * akpo \quad (1)$$

$\alpha$ , (1) eşitliğinde, düzenleme seviyesini temsil eden bir sabit değerdir. Kullanılabilir bantgenişliği, (Tunalı v.d., 2004) çalışmasında önerilen ve sunucu istemci arasında çalışan ayrı bir modül tarafından tahminlenir.

Sunucu, 5 saniyede bir, gerekli parametreleri gözlemleyerek uyarlama algoritmasını çalıştırır ve paket gönderme sıklığı, zamansal çözünürlük ve video kalitesi gibi kontrol parametrelerini düzenler. Paket gönderme sıklığı zamansal çözünürlüğe bağlıdır. Kullanılan çerçeve oranı ve paket gönderme sıklığı kombinasyonları Tablo 2’de verilmiştir. Daha önce sözedildiği gibi, videolar 95 kbps

**Tablo 2. Farklı çerçeve hızları için kullanılan paket aralıkları.**

Paket Aralığı	120 msn	100 msn	68 msn	40 msn	25 msn
Zamansal Çözünürlük					
7.5 fps					
15 fps					
30 fps					

ve 330 kbps olmak üzere iki kalitede QCIF çözünürlüğünde kodlanmıştır. İstemci tarafında en yüksek kaliteyi elde etmek için, maksimum hareket arama alanı kullanılmıştır. I ve P tipi çerçevelerin nicelendirme parametresi düşük kaliteli video için 31, yüksek kaliteli video için 22 olarak seçilmiştir. SP tipi çerçevelerin nicelendirme parametresi ise (Setton ve Girod, 2006) çalışmasında önerilen değerlerdir.

### 3. 3. Uyarlama Algoritması

Şekil 2’de verilen uyarlama algoritması, gözlenen parametrelere bağlı olarak kontrol parametrelerini ayarlar. Algoritma, ilk olarak formül (1) tarafından elde edilen kayıp paket oranına bakarak sıkışıklık seviyesini belirler. Sıkışıklık seviyesi, düşük, orta ve yüksek olmak üzere 3 sınıfa ayrılmıştır. Sıkışıklık seviyelerinin sınır değerleri Tablo 3’te verilmiştir. Tamponlanmış tv video verisine göre, ayarla (paket\_ aralığı) fonksiyonu kalite değişiminden sonra paket gönderme sıklığını ayarlar. Paket gönderme sıklığı, sıkışıklık seviyesi ile kullanılabilir bantgenişliğine göre ayarlanır ve sunucu, bu fonksiyondan dönen değere göre paket gönderim zamanını düzenler. Sıkışıklık seviyesinin yüksek olduğu ağ ortamında, video paketlerinin sık gönderimi, kayıp paket oranının artmasına sebep olabilir. Diğer taraftan, eğer yeterli bantgenişliği varsa ve kayıp paket oranı az ise, istemci tampon seviyesinin düşük olduğu durumlarda paket gönderme sıklığı artırılmalıdır. Paket gönderme sıklığını etkileyen bir diğer parametre olan çerçeve sıklığının değeri, sunucu algoritmasının

istemci tampon seviyesi ve ağ sıkışıklık seviyesine göre karar vermesiyle belirlenir. Tüm bu parametrelerin değerlendirilmesiyle, algoritma uygun bir paket gönderme sıklığı belirler. Uyarlama algoritması Şekil 2’de verilmiştir.

**Tablo 3. Sıkışıklık seviyesi-dkpo aralığı.**

	dkpo Aralığı
Düşük sıkışıklık seviyesi	$dkpo \leq 0.05$
Orta sıkışıklık seviyesi	$0.05 < dkpo \leq 0.15$
Yüksek sıkışıklık seviyesi	$0.15 > dkpo$

```

case DÜŞÜK_SIKIŞIKLIK:
  if (tv_düşük)
    video_kalitesini_düşür ;
    uyarla(zamansal_çözünürlük);
    ayarla(paket_ aralığı);
  if (tv_orta)
    if (kba_yeterli ) video_kalitesini_arttır;
    uyarla(zamansal_çözünürlük);
    ayarla(paket_ aralığı);

  if (tv_yüksek) bekle(zaman);

case ORTA_SIKIŞIKLIK:

  if (tv_düşük) video_kalitesini_düşür ;
    uyarla(zamansal_çözünürlük);
  if (tv_orta) gönderim_hızını_düşür;
  if (tv_yüksek) bekle(zaman);
  ayarla(paket_ aralığı);

case YÜKSEK_SIKIŞIKLIK:
  if (tv_düşük) video_kalitesini_düşür ;
    ayarla(paket_ aralığı);
  else
    bekle(zaman)

```

**Şekil 2. Uyarlama algoritması.**

kba\_yeterli değeri, kullanılabilir bantgenişliğinin, video kalitesinin değiştirilecek yeni değerine uygun olup olmadığına karar vermek üzere kullanılır. Eğer videoyu bir üst kalitede gönderecek yeterli bantgenişliği varsa, video kalitesi arttırılır, aksi durumda kalite aynı seviyede kalır. Kalite değişimi kararı vermeden önce, bantgenişliği tahminleme modülünün birkaç kez benzer kullanılabilir bantgenişliği değerlerini döndürmesi beklenir. Bu yaklaşım, gereksiz kalite değişimlerinin yapılmasını önlemeyi sağlar. İstemci tarafından saklanan video, tampon üst sınırını geçerse, sunucu, bekle fonksiyonuyla geçici olarak paket göndermeyi durdurur.

Video\_kalitesini\_düşür ve video\_kalitesini\_arttır fonksiyonları kalite değişimini sağlar. Kalite değişimi, daha önce sözedildiği gibi, ikincil SP tipi çerçeveler ile yapılır. Kalite değişimine karar verildiği zaman, algoritma en yakın SP ya da I tipi çerçeveye kadar bekler ve değişimi gerçekleştirir. Bekleme periyodu hiçbir zaman 16 çerçeveyi geçmez.

Gönderim\_hızını\_düşür fonksiyonu çağrıldığı zaman; video kalitesi, paket gönderme sıklığı ve B tipi çerçevelerin atılması kararları bir alt seviyedeki iletim hızını sağlayacak şekilde değiştirilir.

### 3. 4. İstemci Mimarisi

H.264 ile video akışlandırma çalışmasında, saklama, çözümlenme ve video verisinin gösterimi istemci tarafından gerçekleştirilir; istemci RTP/RTCP soketlerini sürekli dinleyerek sunucu ile iletişindedir ve kendisine gelen video paketlerini tamponlar.

RTP protokolü UDP üzerinde çalıştığı için, paketler istemciye daima düzgün sırada ulaşmaz (Schulzrinne ve Casner, 2003). Paketlerin sıraya dizilimi için, istemci paket gösterim zamanının geçip geçmediğini kontrol eder. Eğer paket gösterim zamanı geçmişse, paket atılır, aksi durumda sıra numarasına uygun şekilde tamponlanır.

Algoritmanın bir başka özelliği, istemcinin gösterime başlamadan önce başlangıç bekleme zamanını belirlemek için bantgenişliği-gecikme çarpımına bakmasıdır. Başlangıç bekleme süresi boyunca, akışlandırılan paketler önceden belirlenen bir eşik değerini geçene

kadar tamponlanır. Gerçek zamanlı çalışan bir gösterim süreci, video paketlerinin zamanına uygun bir şekilde çerçeve çözümlenme ve gösterim işlemlerinin benzetimini gerçekleştirir. İstemci tarafında çalışan benzetim işparçacığı, beklemesi gereken zamanı hesaplayarak zamanı geldiğinde bir çerçeveyi tampondan kaldırır. Eğer tamponda yeterli sayıda çerçeve yoksa, gösterimde son alınan video çerçevesi donuk olarak kalır ve gösterim, yeni bir çerçeve alındığında devam eder. İstemci aynı zamanda, sunucuya RTP aracılığı uyarılama algoritmasında kullanmak üzere tampon değerlerini gönderir.

## 4. DENEY SONUÇLARI

İstemci ve sunucu çoklu işparçacıklı yazılımlar olup UNIX/Linux işletim sistemlerinde çalışmaktadır. Ağ üzerinde iletişim için RTP protokolü kullanılmıştır. WAN üzerinde yapılan deneylerde akışlandırma yolu Koç Üniversitesi ile Ege Üniversitesi arasında tanımlanmıştır. Paketler, kaynak ve hedef adresler arasında 10 adet zıplama yapmaktadır. Kullanılan akışlandırma yolu boş durumda iken darboğaz bantgenişliği 1 Mbps olup kullanılabilir bantgenişliği ağ üzerinde çalışan diğer uygulamalara bağlı olarak değişmektedir. Kullanılabilir bantgenişliğinin genellikle 100 Kbps- 500 Kbps arasında değiştiği gözlemlenmiştir.

Akışlandırma, istemci tarafındaki tampon seviyesi belli bir değere ulaşana kadar düşük kalitede video gönderimi ile başlar ve devam eder. Düşük kalite ile akışlandırmaya başlamanın 2 sebebi vardır: Düşük kalitede video ile, başlangıç bekleme zamanı daha kısa sürmektedir. Kullanılabilir bantgenişliği tahminleme modülü, daha güvenilir sonuçlar vermek için bu bekleme süreci boyunca tarih bilgisi oluşturur ve ilk değerini bir süre sonra döndürür. Düşük kalitede gönderim yapılmasının bir diğer sebebi, henüz bantgenişliğinin tahminlenmediği durumda, eğer linkin kapasitesi düşük ise, paket kayıplarına sebep olmamaktır.

Video akışlandırma uygulamalarında, kayıplı ortamda PSNR ölçümleri orantılı büyültme yoluyla yapılabilir. Orantılı büyültme yönteminde, eğer bir çerçeve kaybolmuşsa, PSNR ölçümü, alınan son çerçeve ile kayıp çerçeve karşılaştırılarak yapılır. Yapılan deneylerin kazanım sonuçları, orantılı büyültme

yöntemi ile raporlanmıştır. İstemci tarafına iletilen tüm videolar için, 1 saniye içinde alınan çerçevelerin sahip olduğu ortalama PSNR değerleri, ardışık çerçevelerin orantılı büyültme yöntemine göre ölçülen PSNR değerleri ile hesaplanmıştır. Kazanım sonuçlarındaki kullanılan bir başka kazanım değerlendirme parametresi, belirli bir PSNR değerini geçen çerçeve sayısıdır. Bu PSNR değerleri, LAN deneyleri için 35 dB, WAN deneyleri için 33 dB olarak seçilmiştir. 1 saniye içerisindeki maksimum çerçeve sayısı zamansal çözünürlüğe göre değişebileceği için, PSNR eşik değerini geçen çerçeve sayısı da buna bağlı olarak değişebilir. Bu yüzden, 1 saniye içerisindeki çerçevelerin yüzde kaçının belirlenen eşik değerini geçtiği raporlanmıştır. Ayrıca, iletilen tüm video için PSNR değeri ölçülmüştür. Bu hesaplama için, video bütün bir resim olarak düşünülmüş ve PSNR hesaplaması çerçevelerin içindeki tüm piksellerin karşılaştırılarak ölçülmesiyle belirlenmiştir.

SP tipi çerçeveler kullanılan ve kullanılmayan GOP desenlerinin kazanım değerlendirmesi için, farklı ağ koşullarında ve farklı videolar ile çok sayıda deneyler yapılmıştır. Kullanılan videolar arasında ilk tipte video, ikinci tipteki videoya göre daha az sayıda sahne değişikliği içermektedir.

Nicelendirme parametreleri, SP tipi çerçeveler için (Setton ve Girod, 2006) çalışmasında verilen bit hızı-bozulum karşılaştırmasında eniyileme veren değerler olacak şekilde seçilmiş ve en iyi sıkıştırma ve bit hızı kazanımının elde edilmesi sağlanmıştır (Karczewicz ve Kurceren, 2003; Setton ve Girod, 2006).

LAN üzerinde yapılan deneylerde, kullanılabilir bantgenişliği yüksek olduğu için (50 – 60 Mbps), yüksek oranda kayıp paket oranı gözlemlenmemiştir. LAN üzerinde yapılan deneylerde istemci tarafında izlenen video PSNR değerinin 40 dB'in üzerinde olduğu ölçümlenmiştir. Bu değerler (Setton ve Girod, 2006) çalışması ile paralellik göstermektedir. (Setton ve Girod, 2006) çalışmasında kayıpsız ağ üzerinde yapılan deneylerde SP tipi çerçeveler kullanıldığında farklı video dizileriyle yapılan deneylerde PSNR değeri 95 Kbps bit hızı için 37 dB, 330 Kbps bit hızı için 42.5 dB olarak ölçümlenmiştir. Hafif yüklü ağ ortamında SP tipi çerçeveler ile yapılan deneylerde ise PSNR

değeri 95 Kbps bithızı için 36.8 dB, 330 Kbps bithızı için 41 dB olarak ölçümlenmiştir.

WAN deneyleri kullanılabilir bantgenişliği ve kayıp paket oranına göre hafif yüklü, orta yüklü ve çok yüklü olmak üzere 3 sınıfa ayrılacak şekilde organize edilmiştir. Önerilen uyarlama algoritmasının etkinliğini göstermek için, bit hızı uyarlaması yapılmadan deney sonuçları raporlanmıştır. Tablo 4'te, 95 Kbps ve 330 Kbps bit hızıyla H.264 ile kodlanan video verisi için farklı sıkışıklık düzeylerinde WAN sonuçları verilmiştir. Uyarlamalı olmayan deneyler için videolar SP tipi çerçeveler kullanılmamıştır. LAN ortamında yapılan deneyler, fazla sayıda paket kaybı olmadığı için uyarlamalı algoritmayla benzer sonuçları vermiştir.

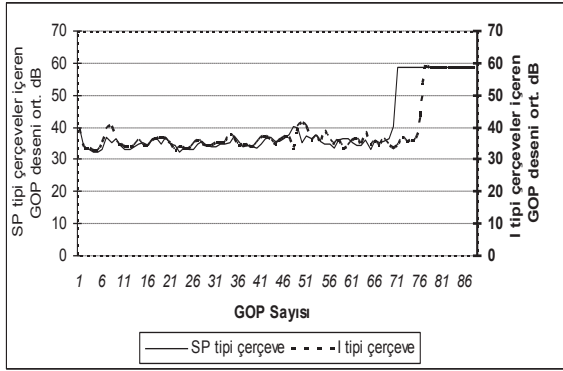
**Tablo 4. Uyarlamasız deneyler için PSNR değerleri.**

	PSNR (95 Kbps)	PSNR (330 Kbps)
Hafif yüklü WAN	20 dB	27 dB
Orta yüklü WAN	17 dB	20.6 dB
Çok yüklü WAN	14.4 dB	14.3 dB

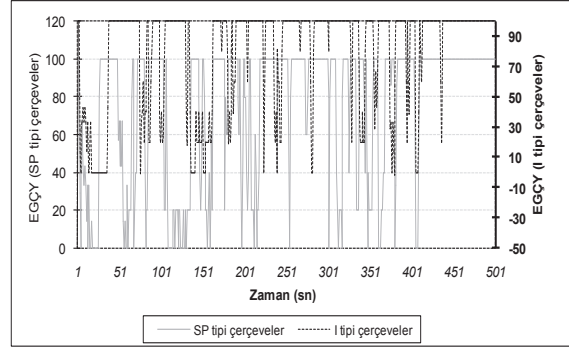
Deneylerde kullanılan yavaş hareketli video, carphone.yuv video dosyasının defalarca tekrarlanması ile elde edilmiştir. Hızlı hareketli video, hızlı sahne değişimleri içerdiği için Türkiye tanıtım videoları arasından seçilmiştir; yavaş hareketli video ile aynı uzunlukta ancak birçok sahne değişikliği içermektedir. Uyarlama algoritması, sürekli değişen kayıp paket oranına rağmen, istemci tarafında tampon düzeyinin sabit bir değerde kalmasını ve video kalitesinin yüksek bir değerde tutulmasını sağlamaktadır. İletilen videonun zamansal çözünürlüğü genellikle 15 ya da 30 fps olup, 7.5 fps'ye nadiren düşmüştür.

Şekil 3, 5, 7 ve 9'da SP ve I tipi çerçeve içeren desenler için yavaş – hızlı hareketli videolar ve orta – çok yüklü ağ koşulları için GOP bazında ortalama PSNR değerlerini vermektedir. Sonlara doğru gözlemlenen ufak değişiklikler dışında, SP ve I tipi çerçeveler içeren desenlerin GOP bazında kazanımı ile ilgili belirgin bir fark bulunmamaktadır. SP ve I tipi çerçevelerin kazanım farkları çerçeve bazında değerlendirmelerde ortaya çıkmaktadır. 1 GOP içerisinde sadece 1 adet SP ya da I tipi çerçeve bulunduğu için bu iki tip çerçeve arasındaki fark GOP kazanım sonuçlarına belirgin bir şekilde yansımamıştır.

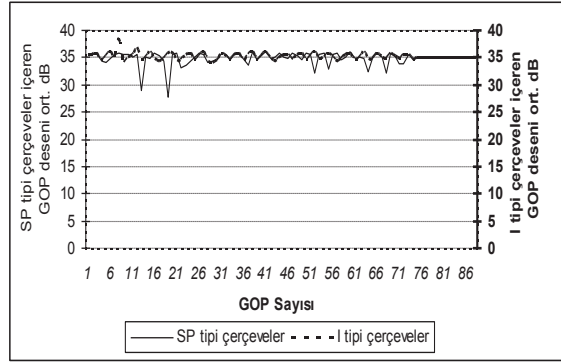
Şekil 4, 6, 8 ve 10, aynı deney kümesi için, eşik değerini geçen çerçeve yüzdesini (EGÇY) göstermektedir. SP ya da I tipi çerçeveler içeren desenler için kazanım eşik değerini geçen çerçeve sayısı açısından büyük farklar gözlemlenmemektedir. Çok ve orta yüklü ağlarda hızlı hareketli video ile SP tipi çerçevelerin boyutu bir önceki çerçeveden referans alabileceği alanlarından azalmasından dolayı büyümektedir ve ağ üzerinde istemciye ulaşma olasılığı azalarak I tipi çerçevelere yaklaşmaktadır. Dolayısıyla, o çerçevenin istemci tarafında düzgün olarak alındığı durumlarda çözümlenen çerçeveler yüksek PSNR değeri elde ederek eşik değerini geçen PSNR sayısında benzer kazanım elde edilmesini sağlayabilir. Burada SP tipi çerçevelerin dezavantajı, bir önceki çerçeveyi referans aldığı için bu çerçevede ağ üzerinde kaybolmuş ise SP tipi çerçevenin PSNR değerinin düşmesine sebep olmasıdır. Bu durum ise küçük farklılıklar olarak grafiklerde gözlemlenmektedir. Yavaş hareketli video için, SP ve I tipi çerçeve boyutları farklıdır, istemci tarafına düzgün şekilde ulaşan çerçeveler farklılık gösterse de eşik değerini geçen çerçeve sayısı birbirine yakındır. Ancak hem yavaş hareketli hem de hızlı hareketli video ile yapılan tüm deneyler için, eşik değerini geçmeyen çerçevelerdeki PSNR değerleri farkı, istemci tarafında gözlemlenen video PSNR değerinde farklılık yaratmaktadır.



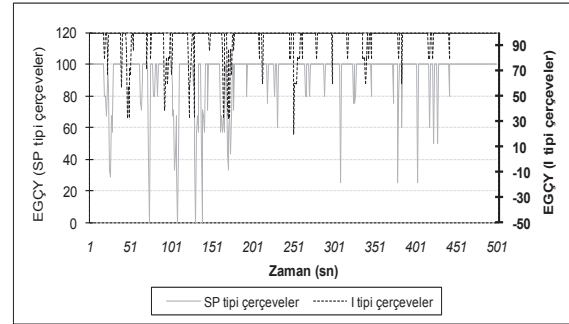
Şekil 3. Orta Yüklü WAN üzerinde hızlı hareketli video verisinin karşılaştırmalı PSNR değerleri.



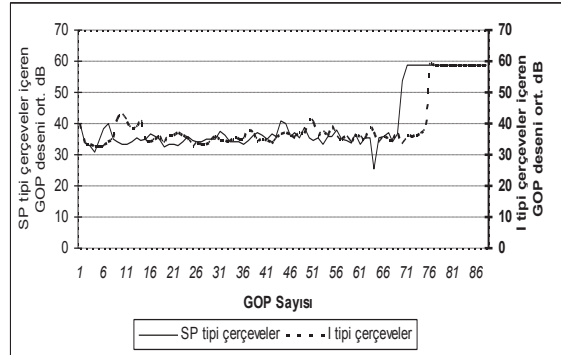
Şekil 4. Orta yüklü WAN üzerinde hızlı hareketli video verisinin karşılaştırmalı EGÇY değerleri.



Şekil 5. Orta yüklü WAN üzerinde yavaş hareketli video verisinin karşılaştırmalı PSNR değerleri.

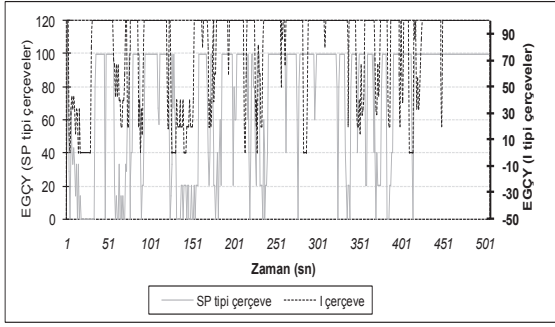


Şekil 6. Orta yüklü WAN üzerinde yavaş hareketli video verisinin karşılaştırmalı EGÇY değerleri.

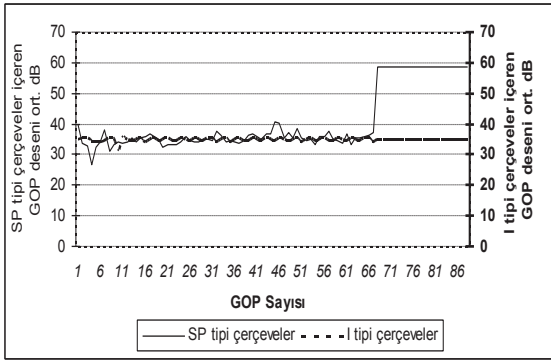


Şekil 7. Çok yüklü WAN üzerinde hızlı hareketli video verisinin karşılaştırmalı PSNR değerleri.

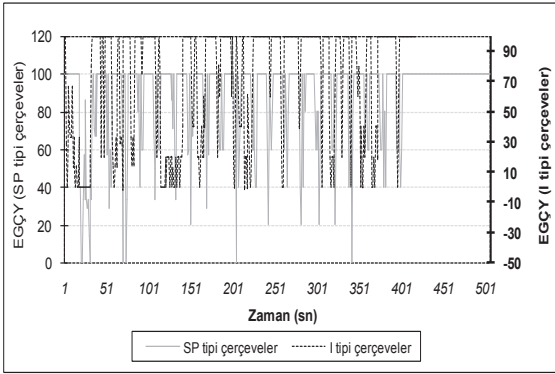




Şekil 8. Çok yüklü WAN üzerinde hızlı hareketli video verisinin karşılaştırmalı EGÇY değerleri.



Şekil 9. Çok yüklü WAN üzerinde yavaş hareketli video verisinin karşılaştırmalı PSNR değerleri.



Şekil 10. Çok yüklü WAN üzerinde yavaş hareketli video verisinin karşılaştırmalı EGÇY değerleri.

Tüm değerlendirmeler sonucunda, deneyler sonucu aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir.

- Yavaş hareketli video için, çok yüklü ağlarda, SP tipi çerçeveler içeren videoların PSNR değeri I tipi çerçeveler içeren videolardan 3 dB daha fazladır. Yavaş hareketli videoda, SP tipi çerçevelerin boyutu bir önceki çerçeveden referans alabileceği alanların fazla olmasından dolayı I tipi çerçeveden daha azdır, dolayısıyla ağ

üzerinde kaybolma olasılığı azalır ve karşı tarafa ulaşan çerçeve sayısı artarak ortalama PSNR değerini olumlu etkiler.

- Yavaş hareketli video için, orta yüklü ağlarda, I tipi çerçeveler içeren videoların PSNR değeri SP tipi çerçeveler içeren videolardan 1.5 dB daha fazladır. Orta yüklü ağlarda, I tipi çerçevelerin istemciye ulaşma olasılığı çok yüklü ağlara göre daha fazla olduğu için istemcide daha fazla sayıda bulunan I tipi çerçeveler video kalitesini arttırmış, bu durum ortalama PSNR değerini yükseltmiştir.
- Hızlı hareketli video için, hafif yüklü ağlarda, SP ve I tipi çerçeve içeren GOP desenleri benzer kazanım sağlamaktadır. Fazla kayba rastlanmaması, istemcide çok sayıda çerçevenin düzgün çözümlenmesini sağlamıştır.

Hızlı hareketli video için, orta ve çok yüklü ağlarda, I tipi çerçeveler içeren videoların PSNR değeri SP tipi çerçeveler içeren videolardan 3 dB daha fazladır. Çok ve orta yüklü ağlarda hızlı hareketli video ile SP tipi çerçevelerin boyutu bir önceki çerçeveden referans alabileceği alanlarından azalmasından dolayı büyümektedir ve ağ üzerinde kaybolma olasılığı artarak I tipi çerçevelere yaklaşmaktadır. Diğer çerçevelerin de kayıp oranı arttığı için istemci tarafında I tipi çerçeve gereksinimi artar. İstemciye eşit sayıda I tipi ya da SP tipi çerçeve ulaşsa bile, sadece I tipi çerçeveler video görüntüsünün düzelmesini sağlar. Bu durum PSNR değerlerinde farklılık yaratmıştır.

Tablo 5'te tüm deneylerin PSNR değerleri verilmiştir.

**Tablo 5. Farklı sıkılık düzeyindeki ağlarda akışlandırılmış video dosyalarının ortalama PSNR değerleri.**

	Hafif Yüklü Ağ			Orta Yüklü Ağ		Çok Yüklü Ağ	
	Deneysel Numarası	Hızlı Hareketli Video	Yavaş Hareketli Video	Hızlı Hareketli Video	Yavaş Hareketli Video	Hızlı Hareketli Video	Yavaş Hareketli Video
I tipi çerçeve desenli GOP	Deneysel 1	35.3 dB	36 dB	35.1 dB	33.5 dB	33 dB	25.2 dB
	Deneysel 2	35.3 dB	38.9 dB	33.1 dB	31.5 dB	33.5 dB	28.5 dB
	Deneysel 3	34.2 dB	35 dB	32 dB	32.5 dB	35.3 dB	29.6 dB
SP tipi çerçeve desenli GOP	Deneysel 1	34.9 dB	34.9 dB	35.2 dB	32 dB	29.7 dB	30 dB
	Deneysel 2	33.2 dB	36.1 dB	33.2 dB	30 dB	27.4 dB	31.7 dB
	Deneysel 3	35.3 dB	38 dB	30.9 dB	31.5 dB	28.4 dB	33.9 dB

## 5. SONUÇLAR

Bu çalışmada, H.264 kodlayıcısı için geliştirilen, SP tipi çerçeveleri kullanan ve internet üzerinde çalışan bir uyarlama algoritması geliştirilmiştir. Farklı ağ koşulları üzerinde farklı karakteristikteki videolar için SP tipi çerçeveler kullanarak ve kullanılmayarak deneyler tasarlanmış ve gerçekleştirilmiştir. SP tipi çerçevelerin, yavaş hareketli videoda ve çok yüklü ağlarda daha iyi kazanım sağladığı görülmüştür.

Ancak, hareketli videolar için yüklü ağlar üzerinde I tipi çerçeveler kullanılarak kodlanan GOP desenleri daha iyi sonuçlar elde edilmesini sağlamıştır. Diğer tüm durumlar için, her iki desen tipi de benzer sonuçlar sergilemiş ve yeteri kadar bantgenişliği olduğu durumda, SP tipi çerçeveler kullanılmadan daha iyi sonuç alınabileceği gözlemlenmiştir. Sonuç olarak, deneyler gözlemlendiğinde, SP tipi çerçevelerin sadece ağ koşullarının olumsuz ve iletilen videoların yavaş hareketli olduğu durumlarda kullanılması önerilmektedir.

## 7. KAYNAKLAR

Argyriou, A. and Madisetti, V. 2005. "A novel end-to-end approach for H.264 video streaming over the Internet", Kluwer Telecommunication Systems, Special Issue on Multimedia Streaming over Next Generation Telecommunication Networks 28 (2): 133-150.

Görkemli, B., Tekalp, A.M. 2007. "Streaming SVC Coded Video over DCCP", Signal Processing and Communications Applications.

Karczewicz, M. and Kurceren, R. 2003. "The SP and SI Frames Design for H.264/AVC", IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology, 13 (7): 637-644.

Rejaie, R., Handley, M., Estrin, D. 2000. "Layered Quality Adaptation for Internet Video Streaming", IEEE Journal of Selected Areas in Communications", 18 (12): 2530-2543.

Renzi, D., Amon, P., Battista, S. 2008. "Video Content Adaptation Based on SVC and Associated RTP Packet Loss Detection and Signaling", WIAMIS, 97-100 pp.

Sayıt, M.F. ve Tunalı, E.T. 2006. "H.264 ile İnternet üzerinde Video Akışlandırma", IEEE Sinyal İşleme ve Uygulamaları Konferansı (SİU).

Schierl, T. and Wiegand, T. 2004. "H.264/AVC Rate Adaptation for Internet Streaming", 14th International Packet Video Workshop (PV).

Schulzrinne, H., S. Casner, S. 2003. "RTP Profile for Audio and Video Conferences with Minimal Control", Network Working Group, 2003, RFC-3551.

Setton, E. and Girod, B. 2006. "Rate-Distortion Analysis and Streaming of SP and SI frames", IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology (CSVT), 16 (6): 733-743.

Shao, B., Renzi, D., Amon, P., Xilouris, G., Zotos, N., Battista, S., Kourtis, A., Mattavelli M. 2010. "An Adaptive System for Real-Time

Scalable Video Streaming with End-to-End QoS Control”, 11th Int. Work. on Image Analysis for Multimedia Interactive Services (WIAMIS).

Tunalı, T., Özbek, N., Anar, K., Kantarcı, A. 2004. “Bandwidth-Aware Scaling For Internet Video Streaming”, ISICIS, 3280:157-166.

Wenger, S. 2003. “H.264/AVC Over IP”, IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology, 13 (7): 645-656.

Wenger, S., Hannuksela, M.M. 2005. Stockhammer T., Westerlund M. and Singer D., “RTP Payload Format for H.264 Video.” Internet Engineering Task Force, RFC 3984.

Wiegand, T., Sullivan, G.J., Bjontegaard, G., Luthra, A. 2003. “Overview of the H.264/AVC video coding standard”, IEEE Trans. Circuits Syst. Video Technol., 13 (7): 560–576.

